

---

## AVERTISSEMENT

---

Le tome 26 des *Procès-Verbaux* est publié en deux volumes A et B.

Le tome 26-A contient les Procès-Verbaux des sessions de 1958 :

- du Comité International des Poids et Mesures,
- du Comité Consultatif de Thermométrie.

Le tome 26-B contient les Procès-Verbaux des sessions de 1957 des Comités Consultatifs :

- pour la Définition de la Seconde (pages S 1 à S 64),
  - d'Électricité (pages E 1 à E 98),
  - pour la Définition du Mètre (pages M 1 à M 180),
  - de Photométrie (pages P 1 à P 123).
- 

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

---

# PROCÈS-VERBAUX

DES SÉANCES

---

2<sup>e</sup> SÉRIE. — TOME 26-B

---

SESSIONS DE 1957 DES COMITÉS CONSULTATIFS

Définition de la Seconde (1<sup>re</sup> Session)

Électricité (8<sup>e</sup> Session)

Définition du Mètre (2<sup>e</sup> Session)

Photométrie (4<sup>e</sup> Session)



PARIS

GAUTHIER-VILLARS, ÉDITEUR-IMPRIMEUR-LIBRAIRE

55, Quai des Grands-Augustins, 55

1958

ANNEXE 54.

ÉTALONS DE TEMPS ATOMIQUES ET MOLÉCULAIRES  
AU NATIONAL BUREAU OF STANDARDS

Par R. C. MOCKLER,  
N. B. S. Boulder Laboratories  
(Traduction.)

Il est maintenant à peu près établi que les périodes naturelles du mouvement d'une molécule ou d'un atome devraient fournir un étalon de temps d'une précision exceptionnelle, particulièrement pour les mesures de courtes durées. Le problème qui subsiste alors est celui du choix de la molécule ou de l'atome présentant les caractéristiques les plus intéressantes pour un étalon de temps; ces caractéristiques seront déterminées par divers facteurs y compris les propriétés fondamentales de la substance et la technique expérimentale à utiliser.

Quelques-unes des qualités marquantes d'un système atomique ou moléculaire propre à servir comme étalon pourraient être rapidement notées. Certaines propriétés sont fondamentales et exigées de tout système atomique, quelle que soit la technique employée. La transition de résonance doit être nette et les particules du système doivent avoir une action réciproque insignifiante; cette condition implique un système gazeux. Des substances solides présentent assurément certaines transitions qui ont une réponse extrêmement nette (transitions quadrupolaires pures), mais ces transitions sont sujettes aux effets de la température, des imperfections réticulaires, du vieillissement et des impuretés.

On pourrait alors probablement envisager un système gazeux avec des raies spectrales très fines et intenses de fréquence élevée, mais sans être élevée au point que la transition tombe en dehors du domaine des techniques électroniques commodes. On doit ensuite choisir une technique expérimentale permettant la plus haute résolution. On retiendra la méthode qui réduira ou élimi-

nera l'élargissement de la raie spectrale par choc et effet Doppler et qui réduira aussi la largeur naturelle de la raie. Deux techniques permettent d'atteindre ce résultat : la technique du jet atomique et la technique du jet moléculaire (maser). Ces techniques présentent des avantages marqués sur les spectromètres ordinaires à absorption gazeuse parce que les jets ordinairement employés sont composés de particules unidirectionnelles avec une densité suffisamment basse pour que les chocs soient évités. Le caractère directif du jet élimine l'élargissement Doppler et puisqu'il n'existe aucun choc dans le jet, l'élargissement par choc est virtuellement éliminé. Pour réduire la largeur naturelle de la raie, on peut simplement augmenter la longueur du jet (ou, à vrai dire, augmenter la région d'excitation). Il y a naturellement des limites à la longueur du jet étant donné que son intensité diminue lorsque sa longueur augmente. Pour le maser, les dimensions de la cavité limitent la longueur de la région d'excitation. Malgré les avantages bien définis d'un spectromètre à jet, le spectromètre à absorption d'ammoniac a été mis au point à un degré de perfection élevé, plus particulièrement au Japon.

Le National Bureau of Standards a retenu le jet atomique à césium et le jet d'ammoniac (maser) comme choix le plus avantageux; ce sont probablement les instruments les mieux au point pour ce but, à l'époque actuelle, aux États-Unis d'Amérique. Chacun de ces instruments a ses avantages et désavantages respectifs. Le jet de césium possède une fréquence de transition plutôt élevée, 9191 MHz; les températures correspondantes du four sont basses et les signaux sont intenses. La largeur de la raie est d'environ 300 Hz pour notre propre instrument. L'oscillateur maser, d'autre part, a une fréquence de transition encore plus élevée, 23 870 MHz. Il est moins volumineux et a une largeur de raie de 5 kHz. Il possède un avantage marqué dans les techniques de comparaison des fréquences. De par son caractère auto-oscillant, on a seulement besoin de compter la différence de fréquence entre l'oscillateur maser et le signal multiplié d'un oscillateur à quartz par exemple. Les variations de fréquence peuvent être enregistrées d'une manière continue sans servomécanismes compliqués. L'horloge à césium nécessite un tracé de la forme de la raie à partir de laquelle on détermine la fréquence du centre de la raie spectrale. Les résultats peuvent être rendus continus si l'on introduit des servomécanismes compliqués. Les mesures préliminaires au maser indiquent que sa précision possible est plus élevée que celle des jets de césium existant actuellement. Le maser a toutefois le désavantage de rendre la détermination de l'exactitude plus difficile.

Il existe d'autres choix possibles de systèmes quantiques qui conviendraient pour un étalon de temps. Une possibilité, du reste

parfaitement établie, est celle du jet atomique de thallium qui ressemblerait beaucoup à l'appareil à jet de césium. Il s'en distingue toutefois par sa transition de fréquence plus élevée — 21 105,447 et 21 310,835 MHz pour les deux isotopes abondants — une technique de détection légèrement différente et, caractéristique distinctive la plus importante, une multiplicité <sup>(1)</sup> plus faible que pour le césium. Comme conséquence on devrait s'attendre à ce que la transition du thallium soit la plus intense, pourvu que l'efficacité du détecteur de thallium ne diffère pas beaucoup de celle du détecteur de césium.

Les possibilités de perfectionnement des étalons atomiques peuvent aussi être obtenues par l'extension des techniques du maser aux autres molécules, en particulier aux molécules linéaires possédant de grands moments électriques dipolaires. Les calculs indiquent qu'une transition particulière dans une molécule linéaire permettrait le mouvement linéaire des molécules séparées, au lieu des trajectoires courbes actuelles dans un maser à ammoniac. Cela permettrait une connaissance plus détaillée de la densité des particules à l'intérieur de la cavité résonnante du maser, cette connaissance détaillée étant nécessaire pour la détermination de l'exactitude d'un spectromètre du type maser. Un jet de cette sorte, suffisamment bien dirigé, a l'avantage de réduire les chocs des molécules sur les parois de la cavité résonnante et de réduire ainsi le bruit, de diminuer la largeur de la raie et d'augmenter l'intensité. Le jet dirigé offre la possibilité d'employer une technique d'excitation de Ramsey qui réduirait notablement la largeur de la raie. Les intensités pour les transitions des molécules linéaires sont quelque peu inférieures à celles de l'ammoniac; cependant, les intensités calculées sont suffisamment élevées pour obtenir un rapport signal/bruit utilisable.

Actuellement, les spectromètres du National Bureau of Standards à jet de césium et à jet d'ammoniac sont capables de fonctionner avec une précision de  $1 \cdot 10^{-9}$  et  $2 \cdot 10^{-9}$  respectivement <sup>(2)</sup>. Les résultats relatifs à la fréquence indiquent que cette limitation de la précision est imposée par les oscillateurs à quartz associés aux deux systèmes. Une précision de  $1 \cdot 10^{-10}$  devrait être atteinte sans aucun changement autre que celui des oscillateurs à quartz. L'exactitude de ces deux instruments est encore

<sup>(1)</sup> Le spin nucléaire du césium naturel est  $\frac{7}{2}$  et celui du thallium  $\frac{1}{2}$ . Il s'ensuit que les atomes de thallium sont distribués sur un plus petit nombre d'états que le césium et que ces états ont, par conséquent, une population plus élevée.

<sup>(2)</sup> Nos spectromètres ne sont pas encore employés comme étalons de temps.

à déterminer, et un programme étendu est prévu pour cette évaluation.

Pour évaluer l'exactitude nous utiliserons la reproductibilité, la comparaison des résonances du césium et du maser, ainsi que la comparaison des résultats expérimentaux aux prévisions calculées. Quelques-unes des informations et expériences nécessaires pour la détermination de l'exactitude sont données ci-après.

*Expériences jugées nécessaires pour l'évaluation de l'exactitude de l'horloge à césium :*

1. Détermination de l'importance de l'inhomogénéité du champ dans la région de l'excitation du jet et son influence sur la fréquence de transition.
2. Détermination de la précision avec laquelle la phase dans chacun des deux bras du guide d'ondes du système d'excitation de Ramsey peut être réglée. Les déplacements mesurés de la fréquence, consécutifs à des changements de phase connus, devraient être comparés avec la théorie.
3. Détermination des déplacements de fréquence provoqués par les transitions voisines.
4. Recherches du bruit et de la modulation de phase de la chaîne multiplicatrice de la fréquence excitatrice. Des déplacements de phase fonction du temps, introduits par la chaîne, peuvent donner des variations de fréquence notables conduisant à des comparaisons de fréquence incorrectes.
5. Détermination de l'influence des fluctuations de l'intensité du jet.
6. Détermination de l'influence de la largeur de bande du bruit de la chaîne excitatrice sur la forme de la raie spectrale.

*Expériences nécessaires à l'évaluation de l'exactitude du maser :*

1. Détermination de la fréquence du signal moléculaire en fonction de l'accord de la cavité, de Q et des modalités de construction de l'appareil.
2. Détermination de la fréquence du signal moléculaire en fonction de l'intensité du jet et du potentiel de l'électrode de focalisation. Pour ces expériences, la répartition de l'intensité du jet à l'intérieur de la cavité doit être déterminée par un sondage soigné avec une jauge de Pirani. Une théorie satisfaisante doit être établie.
3. Détermination de la valeur du bruit, des rapports signal/bruit et de la puissance de sortie.
4. Détermination de la fréquence en fonction de la température de la cavité et comparaison aux variations calculées d'après les causes connues.

5. Recherches sur les propriétés de bruit et la modulation de phase de la chaîne multiplicatrice.
6. Etablissement d'une théorie appropriée pour la forme de la raie spectrale.
7. Détermination de la précision avec laquelle la cavité résonnante peut être fixée à la fréquence de Bohr.
8. L'horloge à césium et l'horloge maser doivent être comparées en fréquence avec précision.
9. Un examen attentif des fluctuations de phase dans la ligne de transmission entre les horloges atomiques et les oscillateurs à quartz étalons primaires doit être fait.

Finalement, les horloges de notre laboratoire doivent être comparées à celles des autres laboratoires et aux résultats astronomiques. Un accord satisfaisant permettrait d'attribuer une valeur numérique aux fréquences de résonance des horloges.

(28 mai 1957.)

ANNEXE 85.

SUR LE RATTACHEMENT  
D'UNE FRÉQUENCE ATOMIQUE  
À LA SECONDE DE TEMPS DES ÉPHÉMÉRIDES  
AU U. S. NAVAL OBSERVATORY

Par W. MARKOWITZ.

(Traduction.)

Si l'on doit définir la seconde au moyen d'une fréquence atomique (ou moléculaire) déterminée, il faudra choisir une valeur qui corresponde aussi étroitement que possible à la seconde de Temps des Éphémérides, afin d'éviter des confusions. Cela implique deux problèmes :

- 1° l'adoption, comme étalon, d'une oscillation particulière, atomique ou moléculaire, produite dans des conditions spécifiées;
- 2° la détermination de la seconde de Temps des Éphémérides avec une haute exactitude, par observation astronomique.

Par les techniques actuelles, la fréquence peut être obtenue rapidement par un procédé atomique (césium) avec une précision de  $1 \cdot 10^{-10}$ , tandis qu'un délai d'environ un an sera nécessaire pour une précision de  $1 \cdot 10^{-9}$  par un procédé astronomique. Cependant, par certains aspects, le premier problème présente plus de difficultés que le second. Un certain nombre d'oscillateurs atomiques ou moléculaires ont été proposés pour servir d'étalons. Bien que l'oscillateur à césium ait seul été mesuré avec précision, à environ  $1 \cdot 10^{-10}$  près, il faudra bien mettre à l'épreuve d'autres oscillateurs, ce qui peut demander des années. D'autre part, il n'y a qu'une façon de déterminer le Temps des Éphémérides : par l'observation de la Lune; dans ce but, des méthodes définies ont été adoptées en 1955 à Dublin par l'Union Astronomique Internationale.

Le U. S. Naval Observatory a en service depuis juin 1952 une